

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A) 平2-185016

⑤ Int. Cl.⁵
H 01 L 21/027

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成2年(1990)7月19日

7376-5F H 01 L 21/30 3 1 1 L

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全10頁)

⑭ 発明の名称 投影光学装置

⑯ 特 願 平1-5320

⑰ 出 願 平1(1989)1月12日

⑱ 発 明 者 谷 口 哲 夫 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑲ 出 願 人 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

⑳ 代 理 人 弁理士 渡辺 隆男

明 細 書

1. 発明の名称

投影光学装置

2. 特許請求の範囲

所定のパターンが形成されたマスクを照明手段により照明し、該パターンの像を投影光学系を介して感光基板上に所定の結像状態で投影する装置において、前記投影光学系に入射する照明エネルギーの量に対応した値を入力する入力手段と；

前記投影光学系内の光学部材を保持する部材の少なくとも1ヶ所の温度変化を測定する測定手段と；

前記入力手段により入力された値と前記測定手段により測定された温度変化とに基づいて、

前記投影光学系内の光学素子の温度変化を前記投影光学系の熱伝達特性に基づいて算出する第1演算手段と；

該算出された前記光学素子の温度変化に基づいて、前記投影光学系の結像特性の変動量を算出する第2演算手段と；

該算出された結像特性の変動量に基づいて前記感光基板上のパターン像の結像状態を補正する補正手段とを備えたことを特徴とする投影光学装置。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、例えば半導体集積回路の製造に使用される露光装置のうち、所定のパターン像の結像を行う投影光学装置に関するものであり、特にその結像特性の維持に関するものである。

(従来の技術)

従来、この種の投影光学装置(ステッパー、フォトリソクター)は、温度が±0.1℃に保たれたチャンバ内に設置されており、外部の温度変化を受けないようになっていた。チャンバ内に設置された装置でも、投影光学系の付近若しくは投影光学系内部に温度センサを設置し、そのセンサ出力に応じて投影光学系の結像特性の補正を行う装置もある。また、照明光の入射に基づく温度変化による結像特性の補正については、例えば特開昭60-78454号公報に示されているように、投影

光学系へ入射するエネルギーを計算して、それに基つき結像特性の変化を補正する方法が知られている。

〔発明が解決しようとする課題〕

近年、半導体の集積度の増加に従い投影パターンが微細化しており、チャンバの温度調整性能内であっても投影光学系の結像特性の変動量（倍率、焦点変動量等）が微細な投影パターン像に対して相対的に大きくなり、結像性能が悪化するという問題点があった。また、温度センサを用いて補正を行う装置においても、ほとんどの場合測定された温度変化に対して比例した量で補正を行っているのが普通である。ところが厳密にはチャンバの温度がまず変化し、投影光学系の保持部材（鏡筒等の金物）、投影光学系（レンズエレメント）へと徐々に熱が移動していくため、前記の比例した補正量では正確な補正はできないという問題点がある。さらに、投影光学系は照明光を吸収して熱変化を起こし、結像特性の変化が発生する。チャンバ温度変化と、照明光の吸収による温度変化を

温度センサにより補正を行おうとすると、同じ温度変化であってもチャンバ温度変化に対して投影光学系の各レンズエレメントは各々の熱容量により温度差を生じ、一方照明光の吸収による温度変化は各レンズエレメントの照明光の吸収特性により温度差を生じるため、結像特性の変動量は異なり正確な補正はできない。また、前記従来技術の照明光吸収に対してエネルギー計算を行い結像特性を補正する方法と温度センサとの組み合わせで補正を行うと、上記のように照明光吸収に関しては温度センサにも鏡筒温度上昇として検出されるため、二重に補正を行ってしまうという不都合もある。

〔課題を解決する為の手段〕

かかる問題点を解決する為本発明においては、温度センサにより投影光学系の保持部材の温度を測定し、投影光学系内部の温度は温度センサの出力に基づいて投影光学系の熱伝達特性を考慮した演算式を用いて求め、補正することにした。さらに、投影光学系の照明光の吸収による温度変化に

対しては光電センサ等により入射エネルギーを求め、投影光学系へのエネルギー蓄積を演算し、結像特性の変化を求め補正する方式とするが、エネルギー蓄積の演算についても上記投影光学系の熱伝達特性を考慮に入れて行うことにより両者（投影光学系の鏡筒温度変化によるレンズエレメントの温度変化と、照明光の吸収によるレンズエレメントの温度変化）を分離して扱い、二重制御をかけないようにした。

〔作用〕

本発明においては、投影光学系保持部材の温度は直接温度センサにより測定し、投影光学系へ入射する照明光のエネルギーは光電センサ等で測定し、両者の測定結果を基に両者が作用した時の投影光学系内部（特にレンズエレメント）の温度を推定し、それに基づき結像特性の補正を行うため、チャンバ内の温度変化に基づき結像特性の変化と、照明光の吸収による結像特性の変化を精度よく補正することができる。照明光の吸収による投影光学系内部の温度上昇は、レンズエレメントが吸収

した熱が投影光学系保持部材を通過して外部へ逃げていく現象を計算することにより求められるが、チャンバ温度が変化し、投影光学系保持部材の温度が変化して熱がレンズエレメントへ伝達する過程も、やはり投影光学系保持部材とレンズエレメント間の熱のやりとりのため、照明光の吸収についても外部の温度変化も同じ式で表せ計算できる。このため、投影光学系内のレンズエレメントのうち、結像特性への影響が大きいいくつかのレンズエレメントについて上記計算を行い、それに対応した結像特性の変化を求めて補正を行えば、従来のような問題がなく補正が可能である。

〔実施例〕

第1図は、本発明の第1の実施例によるステッパーの主要な構成を示したものである。以下、第1図を参照しながら本実施例の構成を説明する。

装置の主要部分は、内部の空気温度と湿度がほぼ一定に保たれたチャンバ1の内部に設置されている。通常、このチャンバ1はチャンバ空調装置1B、HEPA（High Efficient Particle Air）

フィルター1Cにより、チャンバ内の空気温度を設定値に対して $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 、湿度を設定値に対して $\pm 15\%$ 程度に保つことができる。発熱源である光源2は通常チャンバ1の外に設置されており、光源2からの照明光はチャンバ1と隔離される窓(ダイクロイックミラー、ガラス板、又はレンズ等の光学部材等)1Aを介して入射し、シャッター3Aを通過して照明光の強度を露光エリア全域で均一にするための光強度一様化照明系4を通り、ミラー5で反射された後、さらにコンデンサレンズ6を通りレチクルRを照射する。レチクルRは回路パターン等が描かれたマスクで、レチクルRを通過した照明光は、投影レンズ系7を介してウエハW上にレチクルR上のパターンを結像、転写する。ウエハWはウエハステージ部材(8、9X、9Y)上に真空吸着されており、順次移動しながらステップ・アンド・リピート方式で露光されるようになっている。ウエハステージ部材は不図示の防振台上の定盤の上に設置されており、下から順にY方向に1次元移動するYステージ9Y、X方

向に1次元移動するXステージ9X、さらにウエハWを載置して上下(Z)方向に微動するZステージ(ウエハ・ホルダを含む)8によって構成されている。

続いて、この種の装置に搭載されている結像特性の補正機構の例を説明する。本実施例では、投影レンズ系7の結像特性のうち、倍率と焦点位置の補正の場合を示している。まず、倍率の補正機構としては投影レンズ系7の内部の適当な1ヶ所若しくは複数のレンズ間隔を密封した空気室16を設けている。空気室16の内部の空気圧力をベローズポンプ、弁等で構成された圧力調整器15でコントローラ10より指示された所定の値に保つことにより倍率コントロールを行う。一方、焦点位置の補正は投影レンズ系7とウエハWの距離を焦点検出系で計測し、その計測値が一定値になるようにZステージ8を駆動する焦点合わせ機構にオフセットを持たせる方法で行う。その焦点検出系は、LED、集光レンズ等から成る投光器17と、SPD、集光レンズ等から成る受光器18

とで構成されている。投光器17は第1図に示しているように、ウエハWに斜め上方から光線を入射し、その反射光を受光器18で受ける。ウエハWが所定位置から光軸方向にずれている場合、反射光がシフトしずれ量を検出することができる。ずれ量の信号はコントローラ10に送られ、コントローラ10はウエハWが所定の位置に来るまで、ウエハステージ部のZステージ8を光軸方向へ駆動する駆動系19に信号を送り、常に投影レンズ系7とウエハWの間隔を一定に保つ。オフセットを持たせるのは反射光の光路を光学素子(傾斜可能な平行平板ガラス)によりシフトさせるか、ずれ量の信号に電氣的にオフセットを持たせる方法による。本実施例では、結像特性として倍率、焦点位置を取り上げたが、補正すべき結像特性としてはディストーション、像面湾曲等を考えることもできる。また、補正手段としても本実施例の他に、投影レンズ系7内の一部のレンズエレメントを光軸方向へ駆動する方法、レチクルRと投影レンズ系7の間隔を変える方法、投影レンズ系7の

上方又は下方空間に2枚の密封された平行平板ガラスを設置し、その内部の圧力を変える方法、或いはこれら各方法を適宜組み合わせた方法等が考えられており、これらの方法を用いても同様である。

次に、本実施例の主要部分である投影光学系の保持部材(以下、鏡筒と呼ぶ)の温度変化と、照明光の投影光学系への吸収による温度変化とにより生じる結像特性の変化を求める方法の原理の説明を行うが、その前に、従来からの技術として知られている照明光吸収のみによる結像特性の変化を求める方法を簡単に説明する。

まず、簡略化して考えるためレンズエレメント1個の場合について第2図に従って説明する。照明光の吸収による結像特性の変化は主に吸収の大きいレンズ中心部と周辺部との温度勾配により発生する。周辺部(鏡筒7A)の温度が一定と考えれば、温度勾配はレンズエレメント21の平均的な温度 T_L の温度変化分 ΔT_L に比例すると考えられる。つまり、結像特性の変化は ΔT_L と比例

関係にある。レンズエレメント21は第2図の上方から下方へ通過する照明光より熱量 Q_I を吸収する。同時にレンズエレメント21は真鍮等の金属でできている鏡筒7Aに熱量 Q_0 を放出している。レンズエレメント21に接している空気は熱伝導性が悪いので、空気への熱伝導量はここでは無視する。レンズエレメント21の温度 T_L は $(Q_I - Q_0)$ の熱量に比例して変化する。つまり、

$$\frac{dT_L}{dt} = K_1 \cdot (Q_I - Q_0) \quad \dots\dots(1)$$

が成り立つ。ここで、 dT_L/dt は、 T_L の時間微分を表しており、 K_1 は比例定数である。また、レンズエレメント21から鏡筒7Aへ放出される熱量 Q_0 は両者の温度差に比例する。つまり、
 $Q_0 = K_2 \cdot (T_L - T_0) \quad \dots\dots(2)$
 が成り立つ。ここで K_2 は比例定数、 T_0 は鏡筒7Aの温度である。しかし、ここでは鏡筒7Aの温度は一定と過程しているため、 $T_L - T_0 = \Delta T_L$ となる。また、 $dT_L/dt = d\Delta T_L/dt$

をレンズエレメント21の内部の温度が一定温度 T_L として計算したものであるが、厳密に熱の拡散を計算して温度勾配を求める方法がより正確であり、この方法も可能ではあるが、非常に複雑であり、また上記の方法で十分精度が得られるため、本方法で十分である。

次に、(4)式を実際の投影レンズ系7に適用する場合の説明を以下に行う。まず、(4)式の定数 K_1 、 K_2 を求めなければならない。これには ΔT_L と Q_I の関係を知る必要があるが、実際には ΔT_L に比例した結像特性の変化量を直接測定し、 Q_I との関係から K_1 、 K_2 を決定する。つまり、(4)式の ΔT_L にあたる量が実際には結像特性の変化量と考えて良い。ここでも、厳密には投影レンズ系内部の各レンズエレメント全てに(4)式を用意してその合計で結像特性の変化量を求めなければならないが、結像特性に影響を及ぼすレンズエレメントは投影レンズ系の一部であり、複数のレンズエレメントをひとまとめの式と考えることもできるため、1個～3個程度の(4)式の組を用意し、

t が成り立つ。以上と(1)、(2)式より、

$$\frac{d\Delta T_L}{dt} = -K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta T_L + K_1 \cdot Q_I \quad \dots\dots(3)$$

が導ける。(3)式は、一階の微分方程式であるため、時間毎の入力熱量 Q_I の値が知れば、(3)式を解くことにより ΔT_L の値が求まる。(3)式の時刻 t における一般解は、

$$\Delta T_L(t) = \exp(-t/K_1K_2) \Delta T_L(0) + K_1 \int_0^t \exp \frac{-(t-\tau)}{K_1K_2} \cdot Q_I(\tau) d\tau \quad \dots\dots(4)$$

となる。ここで $\Delta T_L(0)$ は積分の初期値に相当して、 τ にはそのときの時刻 t が代入される。この(4)式は外部から熱量 Q_I がレンズエレメント21に入った時に生じる平均温度変化量 ΔT_L を表している。時間毎の熱量 Q_I の値は、例えば照明光の強度をSPD(シリコン・ホトダイオード)等で測定することで求めることができ、(3)式は良く知られている数値解法により解くことができ、(4)式に相当する解が得られる。以上説明した方法はレンズエレメントの平均的な温度変化量 ΔT_L

その和を求めるだけで十分である。以上のようにして結像特性の変化量を算出し、倍率については、倍率変動をキャンセルする方向にコントローラ10から圧力調整器15に圧力信号を送り、焦点位置変化に対しては追従する方向に受光器18にオフセット信号を送り、補正を行う。

次に、上記照明光吸収による結像特性変化を求める原理的な方法を基に、鏡筒温度の変化を含めた本実施例の場合を説明する。上記の方法は鏡筒温度一定としたが、鏡筒温度を T_C とし、基準となる温度を T_0 とすると、(2)式は、

$$Q_0 = K_2 \cdot (T_L - T_C) \quad \dots\dots(5)$$

となる。ここで、レンズエレメント21の平均温度の変化量 ΔT_L 、鏡筒温度の変化量 ΔT_C はそれぞれ、

$$\Delta T_L = T_L - T_0 \quad \dots\dots(6)$$

$$\Delta T_C = T_C - T_0 \quad \dots\dots(7)$$

とする。これより、(5)式は、

$$Q_0 = K_2 \cdot (\Delta T_L - \Delta T_C) \quad \dots\dots(8)$$

となる。また前記のように $dT_L/dt = d\Delta T_L/dt$

1/dtより、前記の(3)式にあたる式は、

$$\frac{d \Delta T_L}{dt} = -K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta T_L + (K_2 \cdot Q_1 + K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta T_C) \quad \dots\dots(9)$$

となる。同様に(9)式の時刻tにおける一般解は、

$$\Delta T_L(t) = \exp(-t/K_1 K_2) \Delta T_L(0) + \int_0^t \exp \frac{-(t-\tau)}{K_1 K_2} \left\{ K_2 \cdot Q_1(\tau) + K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta T_C(\tau) \right\} d\tau \quad \dots\dots(10)$$

となる。⑩式は外部から熱量(照明エネルギー) Q_1 と、温度変化量 ΔT_C とがレンズエレメント21に入った時に生じる平均温度変化量 ΔT_L を表しており、本発明の第1演算手段に対応する。(9)式も(3)式と同様に数値計算で解くことができ、⑩式に相当する解が得られる。ところで、温度変化による結像特性の変化の主な原因としては、レンズエレメントの温度上昇による屈折率の変化が考えられる。この現象に基づく結像特性の変化量を ΔX_T とすると、この量はレンズエレメント

$$\Delta M = \overline{\Delta X_T} + \overline{\Delta X_L} = \sum_{i=1}^n \Delta X_{Ti} + \sum_{i=1}^n \Delta X_{Li} \quad \dots\dots(11)$$

この⑪式において、nは理論的には投影レンズ系7内のレンズエレメントの数だけ必要であるが、実用上の精度等を考慮すると1~4個程度で十分である。ここで⑪式は本発明の第2演算手段での計算式に相当する。

さて、 ΔX_{Ti} 、 ΔT_{Li} は⑩、⑪式から次のように表わされる。

$$\Delta X_{Ti} = K_{3i} \cdot \Delta T_{Li} \quad \dots\dots(12)$$

$$\Delta X_{Li} = K_{4i} (\Delta T_{Li} - \Delta T_{Ci}) \quad \dots\dots(13)$$

また⑩式は、

$$\Delta T_{Li}(t) = \exp(-t/K_{1i} \cdot K_{2i}) \Delta T_{Li}(0)$$

$$+ \int_0^t \exp \frac{-(t-\tau)}{K_{1i} \cdot K_{2i}} \left\{ K_{2i} \cdot Q_1(\tau) + K_{1i} \cdot K_{2i} \cdot \Delta T_{Ci}(\tau) \right\} d\tau \quad \dots\dots(14)$$

と表わせる。

21の平均的な温度変化量 ΔT_L に比例すると考えて良い。一方、前記のように照明光の吸収による結像特性の変化は温度勾配によるもののため、レンズエレメントの平均的な温度 T_L と鏡筒温度 T_C との差と考えて良い。照明光吸収による結像特性の変化量を ΔX_L とすると、変化量 ΔX_L は温度差 $(T_L - T_C)$ に比例する。つまり、 $(\Delta T_L - \Delta T_C)$ に比例する。以上のことから K_3 、 K_4 を係数とすると、

$$\Delta X_T = K_3 \cdot \Delta T_L \quad \dots\dots(15)$$

$$\Delta X_L = K_4 \cdot (\Delta T_L - \Delta T_C) \quad \dots\dots(16)$$

と表せる。 ΔT_L は⑩式(又は(4)式)により求められ、 ΔT_C は温度測定器13により直接求まるため、 ΔX_T 、 ΔX_L は一義的に決定される。

ところで実際の投影レンズ系7全体での結像特性の変化は、レンズエレメントのいくつか(n個)の和で表わせる。投影レンズ系7全体での2つの原因による変化量をそれぞれ ΔX_T 、 ΔX_L とすると、総合結像特性変化量 ΔM は、以下のよう表わせる。

この⑩、⑪、⑫式において未知の係数は K_{1i} 、 K_{2i} 、 K_{3i} 、 K_{4i} であり、これは予め実験や測定等で求めておく必要がある。

また ΔT_{Ci} は鏡筒7Aの温度センサがn個必要なことを意味する。この場合、⑩式、又は⑪式で特定したレンズエレメントを保持する鏡筒部分近傍に各温度センサを取り付けられればよい。⑩式、又は⑪式は投影レンズ系7内のレンズエレメントのうち温度変化に対して比較的大きく光学特性が変動するエレメント(又はエレメント群)のn個を選んで設定してある。

さて、次に⑩式の係数(パラメータ) K_{1i} 、 K_{2i} 、 K_{3i} 、 K_{4i} を求める手順を簡単に説明する。これらパラメータの求め方は、まず照射(露光)を行わずチャンバの設定温度を変えて ΔT_{Ci} と ΔX_{Ti} の関係調べる。この時、⑩式の $K_{2i} \cdot Q_1(\tau)$ の項及び⑫式の

$\sum_{i=1}^n X_{Li}$ の項は無視でき、変動量よりパラメータ

K_{1i} 、 K_{2i} 、 K_{3i} を求めることができる。具体的には照射を行わずに投影レンズ系7全体の温度が十分に安定した状態からスタートし、チャンバの設定温度を一定量(例えば0.2℃)変更し、変更後の結像特性変化の過渡特性をみるために、適当な時間毎にテストレチクル上の複数点に形成された解像力や倍率、ディストーションチェック用のマークパターンの投影像位置を、例えば特開昭63-81818号公報に開示された方法で計測する。この場合、レチクルR(テストレチクル)を介した照射は全く行われていないので、00式の $(\Delta T_{Li} - \Delta T_{Ci})$ は零になり、00式中の $Q_1(\tau)$ も零の状態が続いているため00式は $\Delta X_{Ti}(0) = \Delta T_{Li}(0) \cdot K_{3i}$ として次のように表わされる。

$$\Delta X_{Ti} = \exp(-t/K_{1i} \cdot K_{2i}) \Delta X_{Ti}(0) + K_{1i} \cdot K_{2i} \cdot K_{3i} \int_0^t \exp \frac{-(t-\tau)}{K_{1i} \cdot K_{2i}} \cdot \Delta T_{Ci}(\tau) d\tau$$

トと、照明光を吸収し易いレンズエレメントとは異なる場合が多く、より簡単な形の演算式で補正を行うことができる。つまり、温度変化による屈折率の変化のみが問題となるレンズエレメントについては照明光の吸収はないと考え、00式は無視して良く、また00式の $K_{2i} \cdot Q_1(\tau)$ も無視できる。このため、対応するレンズエレメントの ΔX_{Ti} は00式のように表わされ、対応するレンズエレメントのみの変動量は ΔX_{Ti} となる。また、照明光吸収のみが問題となるレンズエレメントについては00式が無視できる。より簡略化するために、照明光吸収による温度上昇が鏡筒温度変化に比べて十分大きく、鏡筒温度変化を無視できる場合は、00式の代りに(4)式を使えば良い。この場合、パラメータの求め方も簡単となり、まず照射を行わずチャンバの設定温度の変更を行い、00式のパラメータ K_{1i} 、 K_{2i} 、 K_{3i} 、の決定を行う。その後、00式に基づいて ΔM を算出し、この ΔM が補正されるように圧力調整器15を作動させつつ照射を行えば、残りの照明光吸収分のみに対応した変動

...00

(ただし $\Delta X_{Ti}(0)$ は変動量の初期値)

さらにテストレチクルを用いた計測により、総合結像特性変動量 ΔM が求まっているから、00式は

$$\Delta M = \Delta X_{Ti} = \sum_{i=1}^n \Delta X_{Ti} \quad \dots\dots\dots 00$$

となり、 ΔT_{Ci} に対する各経過時間毎の ΔX_{Ti} の各測定データ値に基づいて、例えば最小二乗誤差近似で、3つのパラメータ K_{1i} 、 K_{2i} 、 K_{3i} を決定する。パラメータ K_{1i} 、 K_{2i} 、 K_{3i} が決まったところで照明光を照射し、総合結像特性変動量 $(\Delta X_{Ti} + \Delta X_{Li})$ と ΔT_{Ci} 、 Q_1 の関係より、残り K_{4i} を求める。始めから $(\Delta X_{Ti} + \Delta X_{Li})$ と ΔT_{Ci} 、 Q_1 の関係を調べることでパラメータ K_{1i} 、 K_{2i} 、 K_{3i} 、 K_{4i} を求めることができるが、先の方法の方が一度に求めるパラメータの数が少なく精度良く求められる。

以上は、一般的な場合の説明であるが、通常温度変化により屈折率が変化するレンズエレメン

が表われるので、照明光吸収による結像特性変化のパラメータ K_{4i} が決定できる。

次に、第1図、第2図を参照しながら鏡筒温度の測定法と、照明光のエネルギー Q_1 を求める方法の説明を行う。温度センサ14A、14B、14Cは直接鏡筒の金属に張りつけられている。鏡筒7Aの温度勾配が問題となる場合は、温度センサ14A、14B、14Cを鏡筒の内側に直接設置しても良い。温度センサの内部の構造は第2図に示してあるように測温体22が鏡筒7Aに接して取り付けられる。測温体は例えば白金抵抗体、サーミスタ、熱電対等を用いることができる。測温体22は熱伝導性の良いサーマルコンパウンド23により覆われており、測温体22が鏡筒7Aと同じ温度になるようにしてある。これらは温度センサカバー25により保護されている。さらに、外部の温度変化を遮断するため、温度センサカバー25内部の空間24に断熱材を充填しても良い。温度センサ14A、14B、14Cの取り付け位置は、温度変化による屈折率変化の大きいレンズ

エレメントの保持部分近傍が望ましく、個数は00式の数、すなわち、00式の i ($i=1\sim 4$)の数だけ用いるのが望ましいが、精度が保証できる範囲で減らすことも可能である。温度センサ14A、14B、14Cからの各測定信号は、温度測定器13により所定の基準温度 T_0 からの温度変化量 ΔT_{Ci} に変換され、温度変化量 ΔT_{Ci} の各情報はコントローラ10へ送られる。

一方、照明光のエネルギー $QI(i)$ についてはレチクルRの交換毎、或いはレチクルRのパターン転写領域を制限するレチクルブラインドの位置変更毎に、ステージ9X、9Yに設けられた照度センサ11を投影レンズ系7の下へ移動させ、レチクルRのパターン転写領域を通過して投影像面に達する照明光のエネルギー E を求め、この E を QI の測定に用いる。00式又は00式に用いる時間間数としての $QI(i)$ は、シャッター3Aの開閉状態により $QI(i)=0$ 、または $QI(i)=QI$ となるため、コントローラ10はシャッター制御回路3Bからシャッター開閉状態に関する情報を入力する。

QI を測定する。ステップ100は通常レチクルRの交換のたびに実行されるが、光源がエキシマレーザのようにパルス毎に強度変化するものは、あらかじめ測定しておくことができないため、露光光の一部をレチクルの手前で分岐させて、常に光量モニターしておく必要がある。

ステップ104ではシャッター3Aの開閉状態の情報が作られる。ここで光源2が連続発光する場合、開閉情報の作り方としては2通りの方法が考えられる。その1つは特開昭60-78454号公報にも開示されているように、一定のサンプリング時間 T_s (5~10秒間)内のシャッター開時間のデューティ比 D_u (0~1.0)を作り出す方法であり、もう1つは特開昭63-58349号公報に開示されたように、シャッターの最低開時間よりもさらに短い一定間隔(1~5 μ sec)毎に、シャッター3Aが開いているときは論理値「1」、閉じているときは論理値「0」をサンプリング値 D_s として作り出す方法である。本実施例では後者の方法を採用して、ほぼリアルタイムな演算が

上記のようにコントローラ10は、照度センサ11及びシャッター制御回路3Bより信号を得て $QI(i)$ を計算する。コントローラ10は、 ΔT_{Ci} 及び $QI(i)$ より総合結像特性変動量 ΔM を計算する。通常、コントローラ10は温度変化、照明光吸収以外の原因についても補正を行っている。大気圧力、チャンバ空気温度(焼結温度ではない空気の温度)、湿度等の環境条件を測定器12で測定し、この信号をコントローラ10に送る。これらの計測値は略リアルタイムで結像特性に影響を及ぼすので、環境条件変動に比例した結像特性の変動を示すため、予め実験若しくはシミュレーション等で求めた比例定数 K_5 に従い結像特性の総合変化量を $K_5 \cdot \Delta M$ の演算で計算する。

次に、コントローラ10内に設けられた各種演算式による代表的な制御の流れを第3図を参照してさらに説明する。第3図はコントローラ10内の演算プロセッサが実行するプログラムにも相当している。

まずステップ100において照明光のエネルギー

可能である。

尚、その他シャッター3Aの開閉情報の作り方としては、シャッター3Aの開時間の値 T_o をシャッター閉成時に出力し、シャッター3Aの閉時間の値 T_c をシャッター開放時に出力する方法もある。

次のステップ106では、入力したシャッター開閉情報 D_s 、エネルギー E に基づいて、サンプリング時における入力エネルギー量、すなわち入力熱量 $QI(i)$ を算出する。ここで $D_s = 「1」$ のときは $QI(i) = QI = A \cdot E$ (ここで A は係数)となり、 $D_s = 「0」$ のときは $QI(i) = 0$ となる。尚、他の開閉情報の作り方を採用する場合、デューティ比 D_u を用いるときは各サンプリング時間 T_s 毎に $QI = A' \cdot E \cdot D_u$ (ただし A' は係数)を計算し、シャッター開時間 T_o 、閉時間 T_c を用いるときは、 T_o が出力された時点で $QI = A' \cdot E \cdot T_o$ (ただし A' は係数)を計算し、 T_c が出力された時点で $QI = 0$ を出力するようにする。またパルス光の場合は、一定の

サンプリング時間(3~5秒) T_s 毎に

$$Q1 = 2 \cdot \int_0^{T_s} E \text{ を計算することになる。}$$

以上のステップ100~106は、本発明の入力手段を構成する。

さて、次のステップ108では、その時点で温度センサにより計測(ステップ110)された温度変化量 ΔT_{ci} と、ステップ106で計算された $Q1(i)$ とを(4)式に代入(実際には微分方程式を数値計算することにより演算)し、各レンズエレメントに対応した n 個 ($i=1, 2 \dots n$) の式を計算して、各エレメント毎の平均的な温度変化量 $\Delta T_{li}(i)$ を求める。

引き続きコントローラ10の計算器は、ステップ112で(4)式、(5)式の計算を行なう。この際、先にも説明した通り、特定したレンズエレメントによっては(4)式が無視できるものもあるが、それは計算器内で予め設定しておけばよい。以上のステップ108は本発明の第1演算手段に対応し、ステップ112以降は第2演算手段に対応する。

原因が何であれ熱変化に起因するものは全て含まれている。この場合、温度センサを熱膨張が問題となる装置部分に貼り付けて、結像特性の変動と温度変化との対応を付けて(予め実験等で対応付けた式を用いて)補正を行うこともできる。このことより、上述のレンズエレメントの屈折率変化以外の原因に対しても十分対応できる。また、投影レンズ系7のみを他の装置とは別に温度調整を行う方法も提案されているが、完全に温度調整を行うことは困難であるため、本実施例の方法と併用すると良い。

以上、本発明の実施例では、照明光による温度上昇と、周囲温度変化に基づく鏡筒温度変化とは、温度現象であるために単純な加法計算が成り立たず、両者を同時に計算式中に取り込んで演算する手法をとった。しかし互いの変化が微小で単純な加法計算が成り立つ場合は、照明光の吸収で生じる温度上昇に起因した結像特性変化と、周囲温度変化、鏡筒温度変化に基づく結像特性変化とを別々に求め、単純に加え合わせてもよく、この方法

次のステップ114では、(4)式に基づいて総合結像特性変化量 ΔM を計算し、その他の環境条件による変動も同時に補正する場合は、ステップ116で環境測定値に応じて変化する係数 $K5$ を取り込んで、最終的な変化量 $K5 \cdot \Delta M$ を圧力調整器15、焦点検出系18へ出力する。圧力調整器15は、その変化量 $K5 \cdot \Delta M$ に対応した倍率誤差を打ち消す方向に圧力値を補正し、焦点検出系18は、その変化量 $K5 \cdot \Delta M$ に対応した焦点誤差を打ち消す方向にオフセットを働かせる。

以上の実施例では、温度変化による結像特性変化をレンズエレメントの屈折率変化と考えていたが、他にレンズエレメントの形状変化、鏡筒の熱膨張、装置の熱膨張によるレチクルとレンズ間隔或いはウエハとレンズ間隔の変化、または鏡筒内部の空気温度の変化等が考えられる。しかしながら、本実施例による方法では、結像特性の変化と温度変化を熱伝達の式である(4)式又は(5)式により対応付けて(4)式、(5)式中の各パラメータは実際の結像特性変化と温度変化により求めて)いるため、

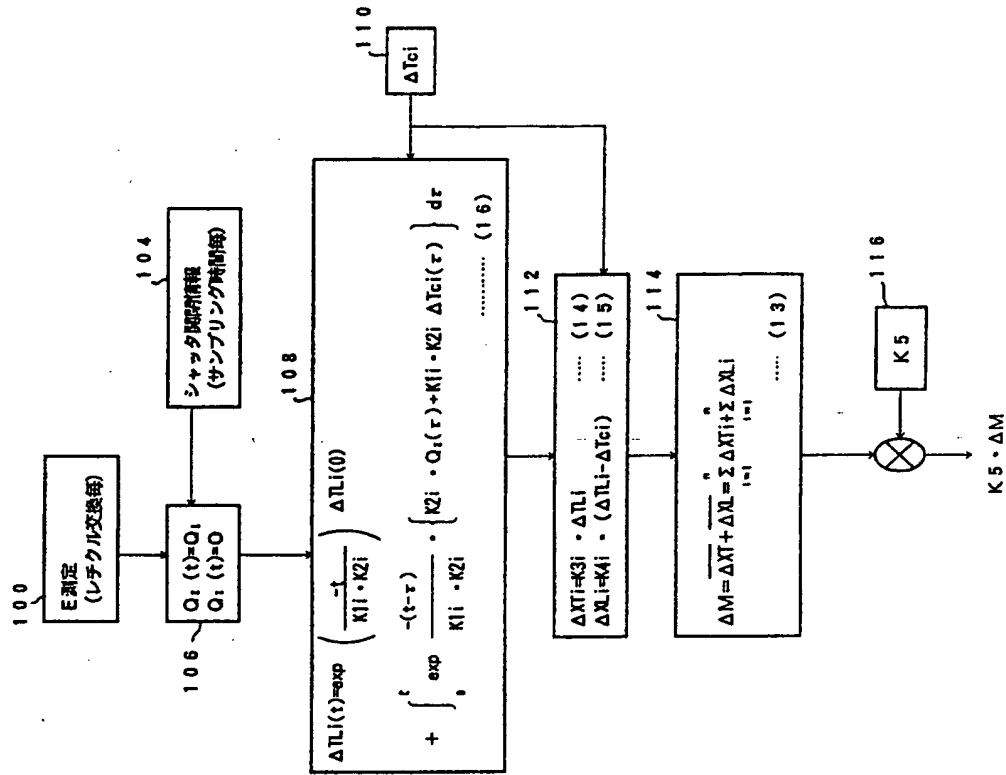
の方が簡単である。

〔発明の効果〕

以上のように本発明によれば、外部温度による投影光学系の結像特性変化を熱伝達の式により求めて結像特性の補正をしているため、従来提案された外部温度と比例した単純な補正方法に比べ精度良く補正が行える。また、照明光吸収による温度上昇と外部温度変化による温度変化とは同じ熱現象のため、温度測定のみによる補正では不都合が生じるが、本発明においては照明光のエネルギーと鏡筒(保持部材)の温度とをそれぞれ測定し、その両者より熱伝達特性に基づいた演算により投影光学系内部(レンズエレメント)の温度を推定して結像の変動量を補正するため、かかる不都合が全くなく、しかも2重の補正にならないという利点がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の実施例による縮小投影型露光装置(ステッパー)の構成を示す概略図、第2図は実施例による投影光学系の一部の構造を示す断



第 3 図